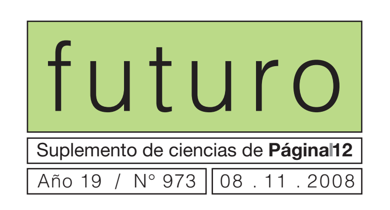

futuro
Suplemento de ciencias de Página/12
Año 19 / N° 973 | 08 . 11 . 2008

FISICA DE PARTICULAS

Saltando a la supercuerda

Con la teoría de cuerdas, que describe a las partículas como, precisamente, cuerdas en espacios de veintiséis o de once dimensiones, la física deja de describir al mundo mediante modelos capaces de hacer predicciones, aunque los teóricos de las cuerdas sostengan que en algún momento habrá alguna forma de contrastación empírica.

diego Alterleib

Saltando...

POR MATIAS ALINOVI

Después de Popper, sabemos que la gran tarea científica es la crítica, y también, que en las ciencias opera un criterio de demarcación: sólo debe conjeturarse lo que pueda ser refutado a través de la observación, y esa es la cualidad que distinguirá a una proposición científica de otra que no lo es. Un científico puede, lícitamente, afirmar que todos los árboles son negros y esperar a que otro encuentre uno rojo. Pero no que dios existe, o que todos los hombres nacemos con un complejo de Edipo, porque esas afirmaciones son esencialmente irrefutables mediante la experiencia.

No hay nada valorativo en la demarcación. Es, estrictamente, la descripción de un criterio. Hoy, los argumentos epistemológicos circulan por la física como crítica sensata a un desarrollo teórico que, desde hace unos treinta años, parece acumular afirmaciones irrefutables: la teoría de las cuerdas.

MODELO ESTANDAR

En los años setenta comenzó a desarrollarse una teoría de las partículas elementales y de sus interacciones, conocida como modelo estándar. Es un lugar común referirse a esa teoría como víctima de su propio éxito: aun cuando dejaba preguntas abiertas, incesantemente sus predicciones teóricas eran confirmadas una y otra vez en los aceleradores de partículas. La situación persiste, y hoy mismo un famoso experimento puede desestimar o no una nueva conjetura: el campo de Higgs.

Pero lo que importa aquí es que mientras se exploraban nuevas ideas para la mejor comprensión del modelo, surgió una propuesta radical: reemplazar la noción de partícula elemental, puntual, por la de ciertos objetos unidimensionales llamados cuerdas.

ORIGEN Y DEFINICION

Los matemáticos nos acostumbraron al infinito, pero no está claro si existe o no algo infinito fuera de la imaginación, si existe el "infinito empírico". Los problemas de la física con el infinito proceden de la descripción matemática de la realidad.

Los campos son una abstracción que permitió describir la misteriosa acción a distancia. Pero los campos suelen presentar problemas. Y los de las teorías cuánticas de campos, que describían la interacción entre partículas, no fueron la excepción. Hacia 1930, esos problemas condujeron a una propuesta alternativa. Como aparecían infinitos en la descripción de las interacciones a muy cortas distancias, se pensó en abandonar el concepto de campo bien definido en todos los puntos del espacio y reemplazarlo, a distancias cortas, por alguna otra cosa. ¿Pero por qué cosa? Nadie lo sabía.

Heisenberg tenía una propuesta: expresar las interacciones mediante una "matriz de dispersión", expresión matemática que permite predecir qué ocurrirá cuando dos partículas se aproximan e interactúan. ¿Emergen de la colisión intactas, pero cambiando de trayectoria? ¿Se aniquilan, produciendo otras partículas? La matriz respondía y podía calcularse, pero en cierta medida equivalía a cambiar de tema. Era una construcción operativa que ocultaba una ignorancia: qué ocurría entre las partículas cuando estaban muy cerca.

EN BUSCA DE LA MATRIX

La propuesta de Heisenberg impulsó en la física de las interacciones una especie de "filosofía de la matriz de dispersión", a la que se opuso Wolfgang Pauli. Pauli, físico suizo nacionalizado norteamericano y considerado uno de los padres de la mecánica cuántica, argumentaba que la propuesta de Heisenberg no resolvía los problemas que la habían originado. La interacción fuerte, una de las fuerzas fundamentales entre partículas, siguió, sin embargo, pensándose en los términos de Heisenberg, por lo menos hasta que apareció la cromodinámica cuántica (QCD), una teoría que sí tenía una idea sobre lo que ocurría a distancias cortas: la fuerza fuerte era el resultado del intercambio de ciertas partículas virtuales llamadas *gluones*.

Ahora bien: uno de los mayores teóricos en interacción fuerte de la época se llamaba Geoffrey Chew, y trabajaba en Berkeley. A pesar del surgimiento de

Wikimedia



"LOS MATEMATICOS NOS ACOSTUMBRARON AL INFINITO, PERO NO ESTA CLARO SI EXISTE O NO ALGO INFINITO FUERA DE LA IMAGINACION."

la QCD, Chew perseveró en el desarrollo de una versión de la matriz de dispersión a la que se ponían ciertas condiciones y principios generales con los que, pensaba Chew, se podría determinar unívocamente la matriz. Y, como antes Heisenberg, alentó una especie de filosofía asociada con el procedimiento. La llamaba autosuficiente. Según Chew, eran las interacciones de cada partícula con todas las demás las que determinaban sus propiedades básicas.

En Berkeley, a mediados de los sesenta, esas interpretaciones debían prestarse a conclusiones improcedentes. En momentos políticamente álgidos, casi toda discusión teórica acomoda las opiniones por fuera de la argumentación estrictamente científica, es una constante de la historia de la ciencia.

SIMETRIA OCCIDENTAL, DINAMICA ORIENTAL

La cuestión es que Chew identificó sus ideas con una "democracia nuclear": no había partículas más elementales que otras; todas debían pensarse como compuestas por todas. Y, lo que era cantado, enarboló la bandera de su democracia nuclear oponiéndose a lo que consideraba la aristocracia de la teoría cuántica de campos, que admitía partículas elementales, las que correspondían a los "cuantos"

> **Fritjof Capra publicó en 1975 *El Tao de la física*, un libro en el que contrastaba la simetría estática occidental y la interrelación dinámica de todas las cosas, oriental.**

de los campos. Pero oponerse a los campos era enfrentarse a una idea fundamental de la teoría: la idea de simetría.

La discusión que subyacía era si la simetría debía considerarse una construcción de la mente o una propiedad de la naturaleza. Si conducía, o no, a leyes fundamentales. Según los partidarios de Chew, buscar simetrías fundamentales en la física de partículas constituía una herencia helénica, inconsistente con la visión del mundo que emergía de la ciencia moderna. Olvidaban, quizás, que también la ciencia moderna era una herencia helénica, y que aun las partículas lo son. Basta pensar en Demócrito.

Si la simetría era estática, aristocrática, helénica, Chew proponía una visión dinámica, democrática y oriental de la física de partículas. Las cosas degeneraron un poco más, y aquella filosofía de Chew devino, de algún modo, una filosofía *new age*. Fritjof Capra, uno de sus discípulos, publicó en 1975 *El Tao de la física*, un libro en el que contrastaba esas nociones: la simetría estática occidental y la interrelación dinámica de todas las cosas, oriental.

LAS TEORIAS DE CUERDAS

Chew creía entonces que las condiciones impuestas sobre la matriz de dispersión serían suficientes para determinarla de manera única. Pero resulta que existían infinitas matrices posibles, de modo que eran necesarias condiciones extra y que se volvían cruciales. Nadie, sin embargo, sabía cómo debían ser.

En 1968 el físico Gabriele Veneziano notó que una función matemática estudiada por Euler en el siglo XVIII, la función llamada *beta*, tenía las propiedades correctas para describir una matriz de dispersión. Pero la expresión de la matriz era muy distinta de lo que se esperaba. Tenía una propiedad llamada dualidad: al mirarla de dos modos diferentes describía dos comportamientos distintos de las partículas.

Hacia 1970 Yoichiro Nambu, el último Premio Nobel, junto a dos colegas, encontró una interpretación elegante de la fórmula de Veneziano: podía pensarse como la matriz de dispersión siempre que las partículas hubieran sido reemplazadas por "cuerdas". Una idea extraordinaria.

La cuerda era una idealización (como la partícula, por lo demás). Las cuerdas podían ser abiertas o cerradas: o tenían dos extremos libres, o los extremos estaban conectados. Había, sin embargo, una diferencia esencial entre cuerdas y partículas: si para especificar la posición de una partícula en el espacio sólo se necesitan tres números, para especificar la de una cuerda se necesitan infinitos: tres por cada punto de la cuerda.

Con Nambu los físicos volvieron a la década del '30 y desarrollaron una teoría cuántica de las cuerdas, así como lo habían hecho antes con las partículas, arduamente.

Y sin embargo, ¡ay!, esa mecánica cuántica desarrollada a partir de las cuerdas presentó dos problemas serios: funcionaba si la dimensión del espacio-tiempo en el que la cuerda vivía era ¡veintiséis y no cuatro!; e incluía un *taquión*, una partícula que se movía más rápido que la luz. Moverse más rápido que la luz es siempre un problema, porque altera la causalidad: uno puede viajar al pasado y sembrar la inconsistencia.

Otro problema de las teorías de cuerdas consistía en que no incluían fermiones (como el electrón o el protón). Y para hacer contacto con el mundo real de la interacción fuerte había que resolver ese problema. Muchos físicos trabajaron entonces en teorías con fermiones, y descubrieron que sus teorías podían tener sentido en *diez* dimensiones, y no sólo en veintiséis. Era un progreso.

SUPERCUERDAS

En la década del '70 se descubrió que las teorías cuánticas de campo en cuatro dimensiones presentaban una nueva simetría, la supersimetría, que se correspondía con una especie de raíz cuadrada de la simetría de traslación que involucraba a los fermiones. Pensemos ahora en la superficie barrida por una cuerda al moverse. Es una superficie bidimensional, una especie de sábana; los primeros teóricos de cuerdas descubrieron que las teorías de cuerdas con fermiones involucraban una versión de la supersimetría análoga a la supersimetría "corriente" de las cuatro dimensiones pero en las dos dimensiones de aquella sábana. Ese tipo de teoría de cuerdas se conoció como de "supercuerdas".

Hacia 1973, el éxito de la QCD hizo que muchos abandonaran las cuerdas. Algunos, sin embargo, siguieron investigando sus propiedades, como John Schwarz, un discípulo de Chew. No se resignaban a creer que aquella construcción soberbia fuera físicamente irrelevante.

Uno de los problemas era que la teoría de supercuerdas predecía la existencia de una partícula nunca observada, sin masa: el gravitón, es decir, el cuanto del campo gravitatorio. Y así, una teoría casi vencida por el éxito de los quarks resucitó como gran candidato a teoría unificada, que incluiría tanto a los campos del modelo estándar como a una teoría cuántica de la gravedad.

En pocos años, Schwarz y sus colaboradores resolvieron algunos de los problemas más ostensibles de la teoría, como el de los taquiones, y produjeron la primera revolución de la teoría de las supercuerdas, que comenzó el éxodo progresivo hacia las cuerdas.

Digamos que hacia 1990 existían cinco teorías de cuerdas, algunas con simetrías extremadamente complejas. Edward Witten, el físico norteamericano que había iniciado aquel éxodo, desarrolló en 1995 una serie de conjeturas sobre cómo estaban relacionadas esas cinco teorías. Habló de relaciones de dualidad entre las distintas teorías y una versión supersimétrica de la teoría de la relatividad general de Einstein. A partir de esa evidencia, y de acuerdo con argumentos cada vez más complejos, Witten conjeturaba la existencia de una nueva teoría supersimétrica en once dimensiones, a la que de algún modo todas remitían. Nunca hubo teoría más conjetural. Witten la llamó M.

En 1997 apareció un artículo de Juan Martín Maldacena, físico argentino, con una conjetura que dominó la investigación reciente en cuerdas. Maldacena conjeturaba, a la Witten, que existía una relación de dualidad entre dos tipos muy diferentes de teorías, en dos dimensiones diferentes. El artículo fue uno de los más citados de la historia de la física.

TOLOMEO

¿Qué valor tiene el desarrollo teórico de las cuerdas? Peter Woit, físico norteamericano, escribió un libro para responder desde el título: *Ni siquiera está mal*. Y aunque Woit matiza su opinión, es, desde luego, lo peor que puede decirse de una teoría científica. O que aspira a ser científica. Después de Popper, el criterio unánime es la falsación.

Con el desarrollo de las cuerdas la física estaría abandonando su objeto central: describir la naturaleza en términos de una única teoría convincente que al hacer predicciones sobre la realidad se ponga a prueba. Los teóricos de las cuerdas podrían replicar: paciencia, ya entenderemos lo que estamos haciendo, y entonces la teoría servirá para hacer predicciones.

En esa actitud hay un peligro, el de Tolomeo. Tolomeo era un genio, y creía que la Tierra era el centro del Universo. Y como era un genio, estudió todos los datos que existían sobre el movimiento de los planetas y construyó un modelo geométrico que permitía calcular sus posiciones. Tolomeo decía, explícitamente, que con su sistema no pretendía descubrir la realidad, que lo suyo era sólo un método de cálculo.

La cuestión es que con su técnica del epiciclo-deferente resolvió, con bastante éxito, los dos grandes problemas del movimiento planetario: la retrogradación de los planetas y la duración dispar de las revoluciones siderales. Cada vez que tenía un problema, agregaba un epiciclo. Hasta que un día llegó Copérnico.

LIBROS Y PUBLICACIONES

LAS CINCO MENTES DEL FUTURO
Howard Gardner
Paidós, 256 Páginas

"Vivimos en una época de cambios descomunales caracterizados por la aceleración de la globalización, la acumulación de cantidades ingentes de información y la creciente hegemonía de la ciencia y la tecnología." Sobre esta concepción, Howard Gardner –profesor de la cátedra de Cognición y Educación en la Graduate School of Education de Harvard (EE.UU.) y director del *Harvard Project Zero*– propone cinco tipologías mentales: "La mente disciplinada"; "La mente sintética"; "La mente creativa"; "La mente respetuosa" y, por último, "La mente ética".

El esfuerzo del autor para definir –o redefinir– las capacidades cognitivas actúa aquí como disparador no sólo de estas nuevas genealogías epistemológicas; también funciona como propuesta para repensar el presente y comprender esos mundos por venir.

Con una vasta experiencia en el campo de las ciencias cognitivas y la neurociencia –disciplinas que descansan, desde hace algún tiempo, en la frontera científica–, Gardner sostiene un enfoque multidisciplinar que amalgama, en un mismo escenario, psicología, historia, antropología y otras vertientes del humanismo. Así, *Las cinco mentes del futuro* propone al lector nuevas formas de aprendizaje, nuevos caminos para comprender los retos del futuro.

ADRIAN PEREZ

AGENDA CIENTIFICA

CONVOCATORIA A BECAS UBACYT

La Subsecretaría de Investigación de la Facultad de Ciencias Sociales de la UBA informa que se encuentra abierta, hasta el 28 de noviembre, la convocatoria para el concurso de becas de doctorado, culminación de doctorado, maestría y estímulo (becas para estudiantes de grado). El cronograma de las charlas informativas será el siguiente: 10 de noviembre a las 17 en Ramos Mejía 841, aula 205; y el 14 de noviembre a las 16 en Marcelo T. de Alvear 2230, aula 305. Para mayor información, pueden visitar el sitio www.fsoc.uba.ar/modules/vertibar/article.php?storyid=9 donde encontrarán las bases e información ampliada. Teléfono: 4508-3817. E-mail: anaarias@mail.fsoc.uba.ar

BECAS DE LA FUNDACION CAROLINA

La sede de la Fundación Carolina en la Argentina anuncia la convocatoria para otorgar becas de especialización profesional que se dictarán, entre el 9 y el 20 de febrero de 2009, en el ámbito de la Escuela Complutense Latinoamericana en la sede de la Universidad Nacional de La Plata. Las becas cubrirán el monto de la matrícula, los gastos de manutención y traslados. Para ser beneficiarios del estipendio es necesario tener nacionalidad argentina y cumplir con los demás requisitos específicos del Programa y convocatoria, que figuran en www.ucm.es/info/fgu/escuelas/argentina/presentacion.html. La solicitud de matriculación y beca deberá enviarse por correo electrónico, antes del 10 de diciembre, a red@fundacioncarolina.org.ar o por fax al (011) 5787-1315.

futuro@pagina12.com.ar

Gulliver en el país de los números

POR CLAUDIO H. SANCHEZ

Puede que en el siglo XVII, el gran Galileo Galilei no cayera en la cuenta de la magnitud de su ley Cuadrado-Cúbica, proposición matemática que aportó variadas soluciones a los problemas más complejos y diversos. "El hombre no se mide por su altura sino por el tamaño de sus acciones." Al astrónomo italiano esta frase le cae como anillo al dedo.

En su primer viaje, Gulliver visita Liliputt, el país poblado por hombrecitos doce veces más pequeños que lo normal. Tan chicos que, para ellos, Gulliver representa "El Hombre Montaña". En uno de los capítulos, el rey de Liliputt dicta una ordenanza que regula la alimentación de Gulliver: "El Hombre Montaña tendrá un suministro diario de comida y bebida equivalente al de 1728 de nuestros súbditos". ¿Por qué ese número, justamente?

Podemos imaginar la ración de un liliputiense contenida en una caja rectangular. Si Gulliver es doce veces más grande, la caja que contenga su ración será doce veces más alta, doce veces más larga y doce veces más ancha. Eso hace que tenga una capacidad 12 x 12 x 12 = 1728 veces mayor, como prevé el decreto real.

Curiosamente, en un pasaje anterior Gulliver recibe seiscientos colchones liliputienses para que se acomode a dormir. Pero seiscientos colchones es muy poco: apenas le alcanzan para hacerse una cama doce veces más larga y doce veces más ancha que una local, pero solamente cuatro veces más alta.

Esa cama le resultaría demasiado delgada e incómoda a Gulliver. Si el rey sabe que Gulliver necesita mil setecientas veintiocho raciones para comer, ¿por qué cree que le alcanzan seiscientos colchones para dormir cómodamente?

DIMENSIONES ANIMALES

En realidad, si suponemos que los liliputienses tienen las mismas proporciones que una persona normal y que su metabolismo también es proporcional, Gulliver podría arreglarse con mucho menos de mil setecientas veintiocho raciones. Ocurre que el alimento que ingerimos los mamíferos se usa, en su mayor parte, para generar el calor que nos permite vivir y que continuamente se escapa por la piel.

Por supuesto, Gulliver tiene mucha más piel que un liliputiense y por eso necesita comer más para mantenerse caliente. Pero, aunque pesa 1728 veces más, la superficie de su cuerpo es solamente 144 (doce por doce) veces mayor que la de un liliputiense.

Por ejemplo, entre los animales de sangre caliente, uno de los más pequeños es el colibrí. Pesa apenas 20 gramos y consume unas 10 kilocalorías por día. Una persona normal pesa unas 3500 veces más que un colibrí, pero consume 2500 kilocalorías diarias, solamente 250 veces más. Si el colibrí tuviera que arreglarse con una dieta proporcional a su peso, respecto de una persona, se moriría de frío.

Para entender mejor cómo funciona esto, imaginemos por un momento que los liliputienses son seres cúbicos de diez centímetros de lado. La superficie de cada una de sus caras será de cien centímetros cuadrados. Si Gulliver es doce veces más alto, será un cubo de 120 centímetros de lado, cada una de cuyas caras tendrá 120 x 120 = 14.400 centímetros cuadrados. Efectivamente, este valor es 144 veces mayor al que le corresponde a un liliputiense.

LA LEY QUE TODO LO RESUELVE

Se podrá objetar que ni Gulliver ni los liliputienses son cubos, sino figuras más complejas. No importa: si ambos tienen la misma forma (forma humana, en este caso), a una relación de uno a doce para la altura le corresponderá una relación de 1 a 144 para la superficie (y 1 a 1728 para el peso).

En general, para dos cuerpos de la misma forma, si las alturas se relacionan a través de un factor N, las respectivas superficies se relacionarán en un factor N x N (o N al cuadrado) y los volúmenes en un factor N x N x N (N al cubo). Esto se llama ley Cuadrado-Cúbica y fue enunciada por Galileo Galilei en el siglo XVII.

La ley Cuadrado-Cúbica aparece continuamente en muchos problemas relacionados con la biología o la ingeniería, cada vez que se considera una magnitud que depende del volumen (y que varía según el cubo de las longitudes) o de la superficie (que varía según el cuadrado). Como en el problema de Gulliver y su alimentación.

Otro caso tiene que ver con la fuerza de enanos y gigantes. Por ejemplo, una pulga puede saltar una longitud varias veces superior a la de su cuerpo y llevar una carga varias veces superior a su peso. Parecería que una pulga del tamaño de un perro podría saltar varios metros llevando una carga de cientos de kilos. Pero el peso de la pulga depende de su volumen mientras que la fuerza que puede desarrollar depende de la superficie transversal de sus músculos.

De modo que, si vamos duplicando sucesivamente el tamaño de la pulga, su peso aumenta ocho veces (dos al cubo) en cada paso mientras que su fuerza solamente aumenta al cuádruple (dos al cuadrado). Llegará un momento en la pulga será incapaz de sostenerse a sí misma. El mismo Galileo explica este caso en uno de sus Diálogos: "Pienso que un perro pequeño podría llevar sobre sí dos o tres perros iguales a él, mientras que no creo que un caballo pudiese sostener ni siquiera un caballo de sus mismas medidas".

INCONSISTENCIAS MATEMATICAS

Como es fácil suponer, la ley Cuadrado-Cúbica se presenta muchas veces a lo largo de los viajes de Gulliver. En su segundo viaje, Gulliver visita Brobdignac, el país de los gigantes. Ahí la gente mide doce veces más que una persona normal. Gulliver nos cuenta cómo toca una especie de piano, con teclas tan duras que las debe golpear con unos garrotes.

Lo que el autor no tiene en cuenta (o no tiene ganas) es que un instrumento así, con cuerdas doce veces más largas y doce veces más gruesas, sonaría demasiado grave para los oídos de Gulliver. Al revés, sus cuerdas vocales emitirían un sonido demasiado agudo para los gigantescos tímpanos de los habitantes de Brobdignac.

Otro problema que la ley Cuadrado-Cúbica presenta a los gigantes es el de la respiración: la cantidad de sangre que circula por un organismo gigante depende de su volumen, pero la capacidad de oxigenar esa sangre depende de la superficie de sus pulmones. Los habitantes de Brobdignac tienen 1728 veces más sangre, pero solamente 144 veces más capacidad de oxigenación. En esas condiciones, se asfixiarían irremediablemente.

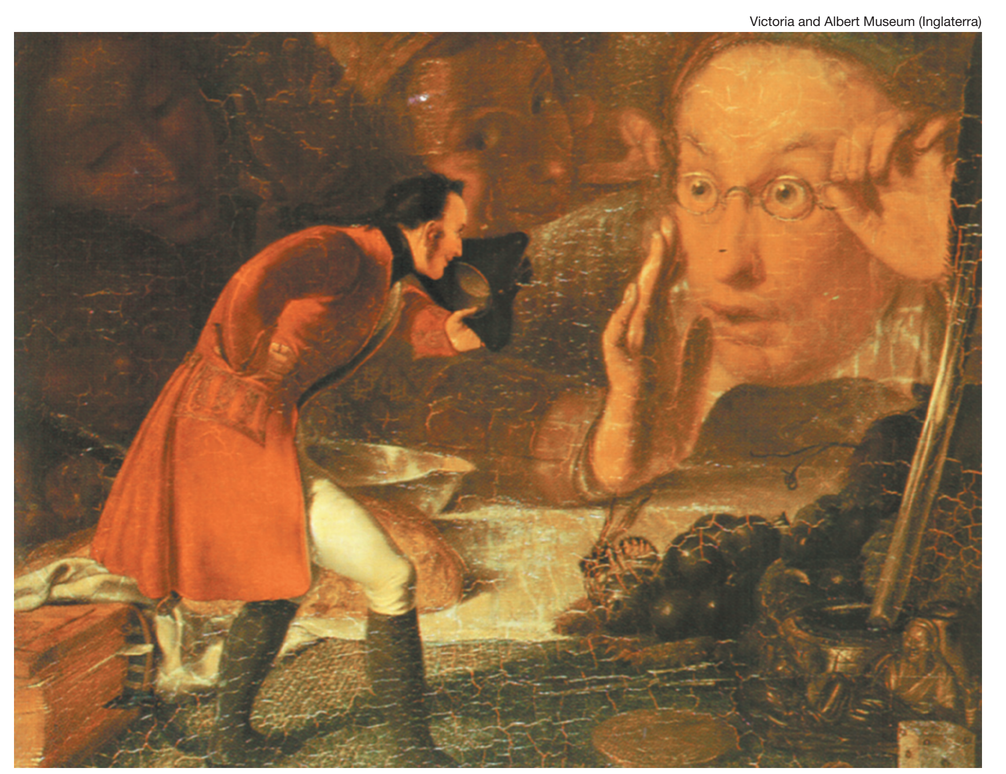
VOLANDO CON NUMEROS

La ley Cuadrado-Cúbica aparece también en ingeniería: lo que Galileo aplica a perros y caballos se puede aplicar a cualquier estructura. El peso de una columna crece con el cubo de su altura y su diámetro mientras que su resistencia crece más lentamente, con el cuadrado. Puede decirse que la ley es una carrera entre el dos y el tres. Esto también explica por qué las montañas son relativamente pequeñas: apenas sobresalen de la superficie terrestre. Una montaña de decenas de kilómetros de altura se derrumbaría bajo su propio peso.

La ley Cuadrado-Cúbica rige solamente cuando se mantienen las proporciones y los materiales. A principios del siglo XX, el astrónomo canadiense Simón Newcomb predijo la imposibilidad de volar con máquinas más pesadas que el aire. El peso de una máquina depende de su volumen mientras que su capacidad de volar depende de la superficie de sus alas. Lo primero varía con el cubo de las dimensiones lineales mientras que lo segundo varía con el cuadrado.

Newcomb calculaba que una máquina suficientemente grande como para llevar a una persona a bordo pesaría demasiado en relación con su capacidad de sustentación. No tuvo en cuenta que las alas podrían hacerse comparativamente más grandes, sus materiales comparativamente más livianos y su motor comparativamente más potente. Todo eso permite eludir las limitaciones de la ley Cuadrado-Cúbica. Newcomb murió en 1909, a tiempo para ver volar a los hermanos Wright.

Victoria and Albert Museum (Inglaterra)



ILUSTRACION DE "LOS VIAJES DE GULLIVER", RICHARD REDGRAVE.

LA LEY CUADRADO-CUBICA Y LAS CAJAS DE FOSFOROS

La ley Cuadrado-Cúbica debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar una caja de fósforos. Dadas dos cajas de iguales proporciones, la cantidad de fósforos depende del cubo de las longitudes y la superficie del raspador depende del cuadrado. De mantenerse las proporciones, el raspador de una caja grande tendría poca superficie y se gastaría antes de encender todos los fósforos. Y efectivamente, las cajas chicas tienen raspador de un solo lado, pero las grandes deben tenerlo en dos.